

CAMBIOS QUÍMICOS OCASIONADOS POR ENCALAMIENTO Y USO DE LOMBRINAZA EN LA ETAPA DE ALMÁCIGO DEL CAFÉ

Carolina Díaz-Marín*; Siavosh Sadeghian-Khalajabadi**; Carmen Soledad Morales-Londoño***

ABSTRACT

DÍAZ M., C.; SADEGHIAN K. S.; MORALES L., C.S. Cambios químicos ocasionados por encalamiento y uso de lombrinaza en la etapa de almácigo del café. *Cenicafé* 59(4):295-309.2008

El encalamiento es la práctica más recomendada para el manejo de la acidez de los suelos. Para la etapa de almácigo de café se determinó el efecto del encalamiento y el uso de la lombrinaza sobre la acidez y los contenidos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P), en cinco suelos de la zona cafetera colombiana. Se evaluaron 20 tratamientos, resultantes de la combinación de dos niveles del abono orgánico (con y sin), dos fuentes (cal agrícola-CA y escorias Thomas-ET) y cuatro dosis de cal (1,19; 2,38; 4,76 y 9,52 g de CaO por bolsa de 2.000 cc), además de un testigo sin cal y otro con P, en cada nivel de lombrinaza. Un mes después de mezclar las cales con el suelo se adicionó la lombrinaza y se sembraron las plántulas. El efecto de los tratamientos sobre las propiedades químicas se evaluó uno y siete meses después de aplicar la cal al suelo. El encalamiento con las dos fuentes aumentó el pH y el Ca^{2+} en todos los suelos, mientras que el aluminio intercambiable (Al^{3+}) disminuyó por debajo de $1 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$; el P se incrementó al utilizar ET y el Mg^{2+} al emplear CA. El uso de lombrinaza disminuyó la acidez del suelo y el contenido de Al^{3+} . El efecto de las dosis de cal sobre las características evaluadas presentó algunas variaciones de acuerdo con el tipo de suelo.

Palabras clave: Acidez, cal agrícola, escorias Thomas, calcio, magnesio, fósforo.

ABSTRACT

Liming is the most recommended practice for soil acidity management. For the nurser y stage, the liming effect, the earthworm manure use on acidity and the calcium (Ca), magnesium (Mg) and phosphorus (P) contents were determined in five soils of the Colombian coffee-growing zone. 20 treatments resulting from the combination of two manure levels (with and without) with two sources (agricultural limestone AL and Thomas slags-TS) and four limestone doses (1.19, 2.38, 4.76 and 9.52 g of CaO per bag of 2.000 cc) as well as a control without lime and another with P in each manure level were evaluated. A month after mixing soil and lime, earthworm manure was added and seedlings were planted. The effect of treatments on chemical properties was assessed one and seven months after applying lime to the soil. The liming with both sources increased pH and Ca^{2+} in all soils, while exchangeable aluminium (Al^{3+}) decreased below $1 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$; P increased when using TS and Mg^{2+} when using AL. The use of earthworm manure decreased soil acidity and Al^{3+} content. The effect of lime doses on the evaluated characteristics showed some variations according to the soils.

Keywords: Acidity, agricultural limestone, Thomas slag, calcium, magnesium, phosphorus.

* Ingeniera Agrónoma. Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia.

** Investigador Científico II. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

*** Ingeniera Agrónoma M.Sc. Profesora Universidad de Caldas. Manizales, Caldas, Colombia.

La acidez de los suelos afecta la disponibilidad de los nutrientes y el crecimiento de las plantas. Esta propiedad, la cual es medida a través del pH, influye en la tasa de liberación de nutrientes por meteorización, en la solubilidad de todos los materiales del suelo y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en los sitios de intercambio catiónico (6). Para el cultivo del café el pH óptimo se encuentra entre 5,0 y 5,5 (30).

El encalamiento es la principal práctica agrícola para disminuir la acidez del suelo, se utiliza básicamente para neutralizar el H^+ , Al^{3+} y Mn^{2+} intercambiables y para suplir elementos nutritivos, principalmente de Ca y Mg (6). El requerimiento de cal puede definirse como la cantidad de $CaCO_3$ necesaria para reducir la acidez hasta el punto de obtener el óptimo rendimiento de los cultivos (17). Este óptimo se alcanza cuando se eleva el pH del suelo a valores cercanos a 6,0 ó 7,0 (11); sin embargo, en suelos de la zona tropical e intertropical, se considera suficiente neutralizar el Al^{3+} hasta un nivel no tóxico para las plantas, lo cual sucede a un pH próximo a 5,5 (13, 22). En investigaciones recientes sobre el Al^{3+} , Ortiz *et al.* (18) demostraron que la determinación de este elemento es afectada por la concentración del extractante comúnmente empleado para su determinación (KCl), pues sus valores aumentan conforme incrementa la concentración de KCl, lo cual puede sobrevalorar los contenidos del Al^{3+} , en este caso se estarían extrayendo altas cantidades del elemento proveniente de otras fuentes (posiblemente hidróxidos de Al o el complejo por la Materia Orgánica - MO del suelo), las cuales no son tóxicas para las plantas.

En diversos trabajos de investigación, tanto en Colombia como en otros países productores del grano, se ha evaluado el efecto de la aplicación de cal sobre las propiedades químicas de los suelos. En la mayoría de

estos trabajos se ha logrado incrementar los contenidos de las bases intercambiables y el pH, además de la disminución del Al^{3+} , razón por la cual recomiendan su aplicación. Raju y Deshpande (21) evidenciaron aumentos en los niveles de pH, Ca y peso seco total de las plantas de café.

Con referencia específicamente a la acidez en suelos de la zona cafetera colombiana, Valencia y Bravo (31) encontraron que el uso de cal aumentó el pH, Ca y Mg intercambiables y disminuyó los contenidos de Al^{3+} y Mn en el suelo; así mismo, Valencia (29) demostró que al aplicar esta enmienda es posible recuperar la fertilidad de los suelos al incrementar los contenidos de las bases intercambiables y disminuir la concentración de H^+ y Al^{3+} . Toro (28) por su parte, demostró que dosis altas de cal (mayores a 100 g de cal por matero de 2 kg de capacidad) disminuyen la disponibilidad de los nutrientes y, por ende, el peso seco de las plantas. En la actualidad se recomienda tener en cuenta la acidez del suelo, los contenidos de Ca^{2+} y el tamaño del hoyo para las recomendaciones del encalado al momento de la siembra de café (24). Así mismo, se sugiere la aplicación de 380 a 620 $kg \cdot ha^{-1}$ de CaO cada dos años, para cultivos en la etapa de producción, de acuerdo con los niveles de acidez (25).

Esta investigación tuvo como propósito determinar para la etapa de almácigo de café el efecto del encalamiento y la lombrinaza de pulpa de café sobre los cambios químicos en algunos suelos representativos de la zona cafetera de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron suelos de cuatro unidades cartográficas, provenientes de cinco localidades (Tabla 1), contrastantes en sus características

Tabla 1. Ubicación y clasificación taxonómica de los suelos del estudio.

Unidad de suelo	Departamento	Municipio	Localidad	Clasificación taxonómica
Chinchiná	Caldas	Chinchiná	E.C. Naranjal	Acrudoxic Melanudands
Chinchiná	Antioquia	Venecia	S.E. El Rosario	Pachic Melanudands
Montenegro	Quindío	Buenavista	S.E. Paraguaicito	Andic Dystropepts
Paujil	Santander	F/blanca	S.E. Santander	Typic Dystrandeps
200	Valle del Cauca	Jamundí	F.C.	Typic Dystropepts

E.C.: Estación Central; S.E.: Subestación; F.C.: Finca cafetera

Tabla 2. Propiedades químicas y físicas de los suelos empleados en el estudio.

Localidad	pH	N		K	Ca Mg Al			CIC	P	Fe Mn Zn			Cu A L Ar			Textura	
		MO	(%)		(cmol ₍₊₎ .kg ⁻¹)					(mg.kg ⁻¹)			(%)				
E.C. Naranjal	5,1	0,36	8,7	0,15	0,8	0,2	0,4	23	2	101	13	4,0	7,0	53	34	13	F.A.
S.E. El Rosario	4,4	0,63	18,0	0,41	0,8	0,3	3,5	33	8	148	52	4,0	3,0	45	26	29	F.Ar.A.
S.E. Paraguaicito	5,1	0,28	6,4	0,41	3,5	0,6	0,4	16	17	114	27	6,0	1,0	67	20	13	F.A.
S.E. Santander	5,0	0,48	12,5	0,32	3,5	1,1	0,7	15	4	407	26	3,0	2,0	51	20	29	F.Ar.A.
F.C. Jamundí	4,5	0,40	9,9	0,12	0,2	0,1	3,0	20	0	325	6	1,0	2,0	23	24	53	Ar.

E.C.: Estación Central; S.E.: Subestación; F.C. Finca cafetera

(Tabla 2). Éstos fueron recolectados en los primeros 20 cm de profundidad del horizonte A, y se tuvo en cuenta que no hubieran sido encalados en los últimos cinco años.

Los suelos recolectados se llevaron a La Granja de Cenicafé (Chinchiná, Caldas), a una altitud de 1.310 m y con temperatura promedio de 21,7°C, para establecer allí el almácigo con café variedad Colombia. Se utilizaron bolsas plásticas de 17 x 23 cm, de 2.000 cc de capacidad.

En cada tipo de suelo se evaluaron 20 tratamientos (Tabla 3), resultantes de la combinación de dos niveles de lombrinaza (con y sin), dos fuentes de material encalante (cal agrícola-CA y escorias Thomas-ET) y cuatro dosis de cal (1,19; 2,38; 4,76 y 9,52 g de CaO por bolsa plástica de 2.000 cc), además de un testigo sin cal ni P (testigo absoluto- TA) y otro sin cal pero con P (testigo relativo- TR), en cada nivel del abono orgánico.

Para la selección de las dosis se tuvo en cuenta la cantidad de cal que generalmente se recomienda aplicar en el hoyo al momento de la siembra (100 g para hoyos con dimensiones de 30 x 30 x 30 cm), la cual equivale a 4,76 g de CaO por cada 2.000 cc de suelo; por ello, se consideraron cantidades más bajas y más altas que el valor en referencia.

La lombrinaza, obtenida a partir de pulpa de café descompuesta por lombriz roja californiana, presentaba las siguientes propiedades: Cenizas 60,22%, pH 7,39, N 3,03%, P 0,31%, K 3,18%, Ca 1,82%, Mg 0,4%, Fe 1.081 mg.kg⁻¹, Mn 272 mg.kg⁻¹, Zn 82 mg.kg⁻¹, Cu 6,7 mg.kg⁻¹ y B 60 mg.kg⁻¹. Ésta se adicionó dos días antes del transplante de la chapola a la bolsa en una relación de 3:1 (v/v) (suelo:lombrinaza). En el TR se aplicaron 2 g de P₂O₅ al segundo y cuarto mes, en forma de Fosfato diamónico- DAP (46% de P₂O₅ y 18% de N).

Un mes después de haber aplicado los materiales encalantes, y antes de incorporar la lombrinaza, se analizaron las siguientes propiedades químicas, de acuerdo a la metodología descrita por Carrillo (5), con el fin de determinar los cambios ocurridos: pH (relación suelo:agua 1:1, potenciométrico), P (Bray II, colorimétrico), Ca y Mg (Acetato de amonio 1N, neutro, absorción atómica), y Al (KCl 1M, absorción atómica). Este mismo procedimiento se llevó a cabo seis meses después del transplante de la chapola, momento en el cual se evaluaron los tratamientos 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18 y 19, que correspondieron a las dosis media y alta de las dos fuentes encalantes, con y sin lombrinaza, además de los testigos.

Cada tratamiento contó con 15 repeticiones, las cuales fueron dispuestas en bloques por tipo de suelo y distribuidas de manera completamente aleatoria debajo de una cobertura de malla de polisombra.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del encalamiento sobre el pH

Un mes después de aplicados los materiales encalantes. Se registraron incrementos en el pH del suelo conforme aumentaron las dosis empleadas (Figura 1); en la mayoría de los suelos el aumento alcanzó valores cercanos a la neutralidad. En Jamundí,

Tabla 3. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Adición de lombrinaza	Dosis de CaO (g /2.000 cc de suelo)	Fuente
1		1,19	CA
2			ET
3		2,38	CA
4			ET
5	Sin	4,76	CA
6			ET
7			CA
8			ET
9		0	TA
10		0	TR
11		1,19	CA
12			ET
13		2,38	CA
14			ET
15	Con	4,76	CA
16			ET
17			CA
18			ET
19		0	TA
20		0	TR

CA: Cal agrícola; ET: Escorias Thomas; TR: Testigo relativo

Tabla 4. Composición química de los materiales encalantes utilizados en el experimento.

Elemento	Cal agrícola	Escorias Thomas
P ₂ O ₅ (%)	0,0	10,8
K ₂ O (%)	0,1	0,1
CaO (%)	46,7	51,1
MgO (%)	8,1	1,9

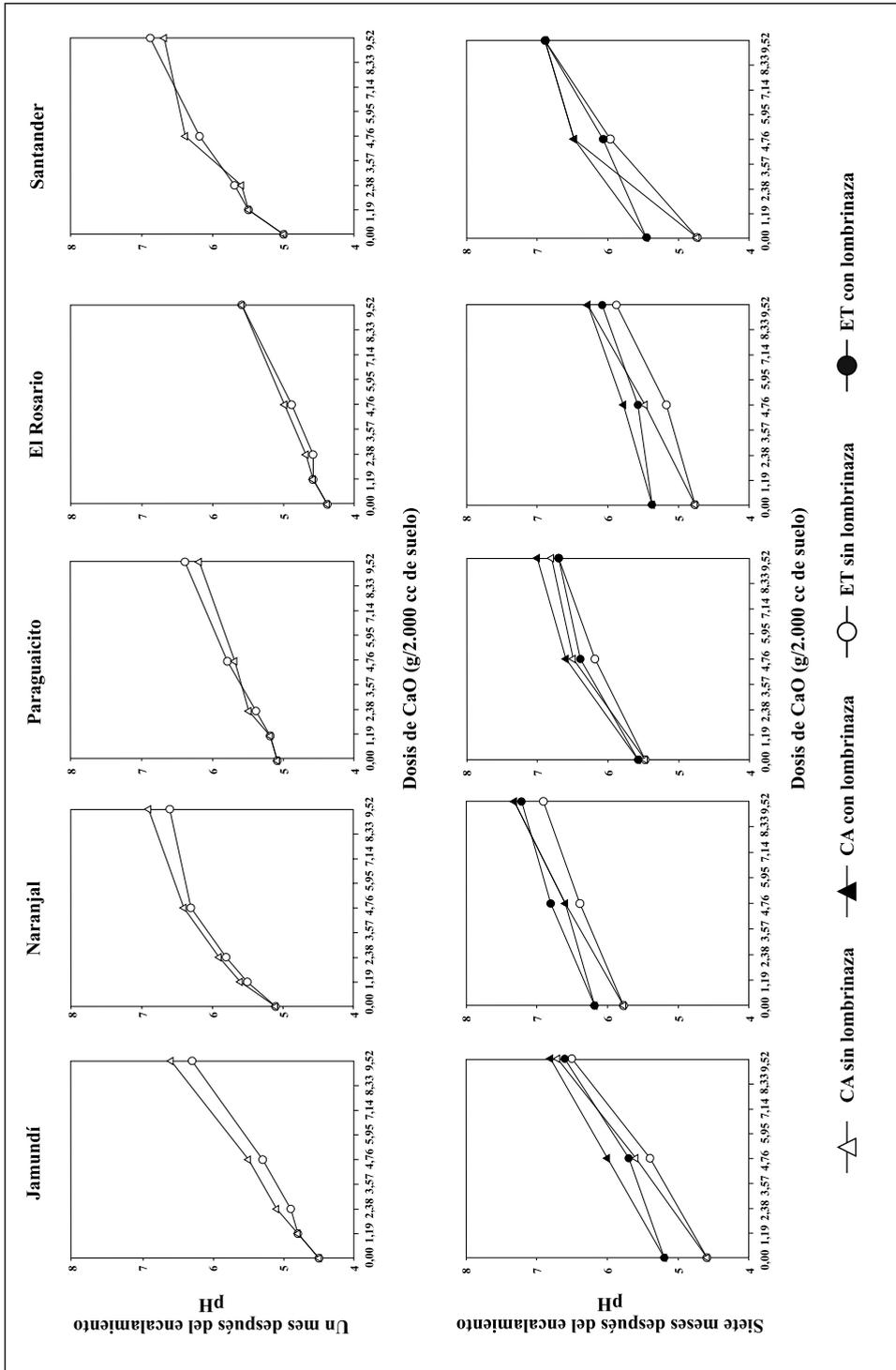


Figura 1. Efecto del encalamiento sobre el pH de los suelos, uno y siete meses después de aplicados los materiales encalantes.

Naranjal y Santander el pH se elevó en casi dos unidades cuando se aplicaron 9,52 g, con cualquiera de las dos fuentes. En El Rosario y Paraguaicito el incremento fue menor; para la primera localidad este comportamiento se relacionó con el origen del suelo (cenizas volcánicas), el alto contenido de materia orgánica del suelo (MO) y una mayor resistencia al cambio del pH (efecto buffer o tampón). Espinosa (6) afirma que la alta capacidad tampón de los Andisoles se debe a que las arcillas resultantes de la meteorización de las cenizas volcánicas (alófana, imogolita y complejos humus-Al) tienen una superficie muy reactiva. En este caso los OH^- producidos por la hidrólisis del ion CO_3^- crean carga en la superficie de las arcillas por desprotonización (pérdida de H^+) y, consecuentemente, no se incrementa el pH de la solución del suelo, pero aumenta la CIC. Por la textura F.A. del suelo de Paraguaicito se hubiera esperado un mayor aumento en el pH con el encalamiento, como lo referencia Rodríguez (23), quien registró cambios bruscos del pH en suelos arenosos con bajos contenido de arcilla y MO, comportamiento que fue relacionado con una reducida capacidad amortiguadora de los mismos. El poco incremento del pH en el suelo de Paraguaicito puede ser el resultado de la menor retención de agua, indispensable para que la cal reaccione en el mismo, o como consecuencia de la lixiviación de una parte de los materiales encalantes por las prácticas de riego continuo en el experimento. Así mismo, la capacidad tampón de las alófanas que componen este suelo puede estar limitando el incremento de esta propiedad.

Siete meses después de aplicados los materiales encalantes. Sin la lombrinaza se presentaron tendencias similares a las observadas un mes después de haber aplicado los tratamientos (Figura 1). En Jamundí y Santander el pH aumentó en casi dos

unidades al aplicar la dosis más alta de cal, independiente de la fuente, mientras que en las otras tres localidades el incremento fue menor; resultado que se relacionó con el mayor efecto buffer que presentan los suelos derivados de cenizas volcánicas.

La aplicación de lombrinaza sin adicionar cal también logró aumentar el pH en todos los suelos; respuesta que se relacionó tanto con el pH del material orgánico (7,39), como con su capacidad de neutralizar la acidez (H^+ y Al^{3+}). Osorio (19), al evaluar el efecto de la aplicación de la porquinaza en tres suelos (Mollisol, Oxisol y Andisol), encontró un aumento en el pH de los mismos, siendo mayor el incremento en el Mollisol, seguido por el Oxisol y finalmente por el Andisol, debido a que este último exhibe una mayor capacidad buffer. Los mayores incrementos de pH con la aplicación de lombrinaza se obtuvieron en los suelos de Jamundí, El Rosario y Santander. En los suelos de Naranjal y Paraguaicito, en los cuales se registraron los mayores valores iniciales de pH (5,8 y 5,5 respectivamente), el aumento fue menor.

Al comparar el efecto del encalamiento frente a la acción de la lombrinaza, se produjo un mayor incremento al emplear los materiales encalantes, pues con la aplicación del abono orgánico sólo se logró incrementar el pH casi en una unidad; mientras que con las dosis crecientes de cal se alcanzaron valores cercanos a la neutralidad.

Aluminio intercambiable (Al^{3+})

Un mes después de aplicados los materiales encalantes. Para todos los suelos evaluados se presentó una disminución de los niveles de Al^{3+} al incrementar las dosis de CaO (Figura 2). Al respecto, Espinosa (6), señala que el aumento del pH induce a la precipitación del Al^{3+} como compuesto insoluble y ocasiona su disminución en la solución del suelo. Las

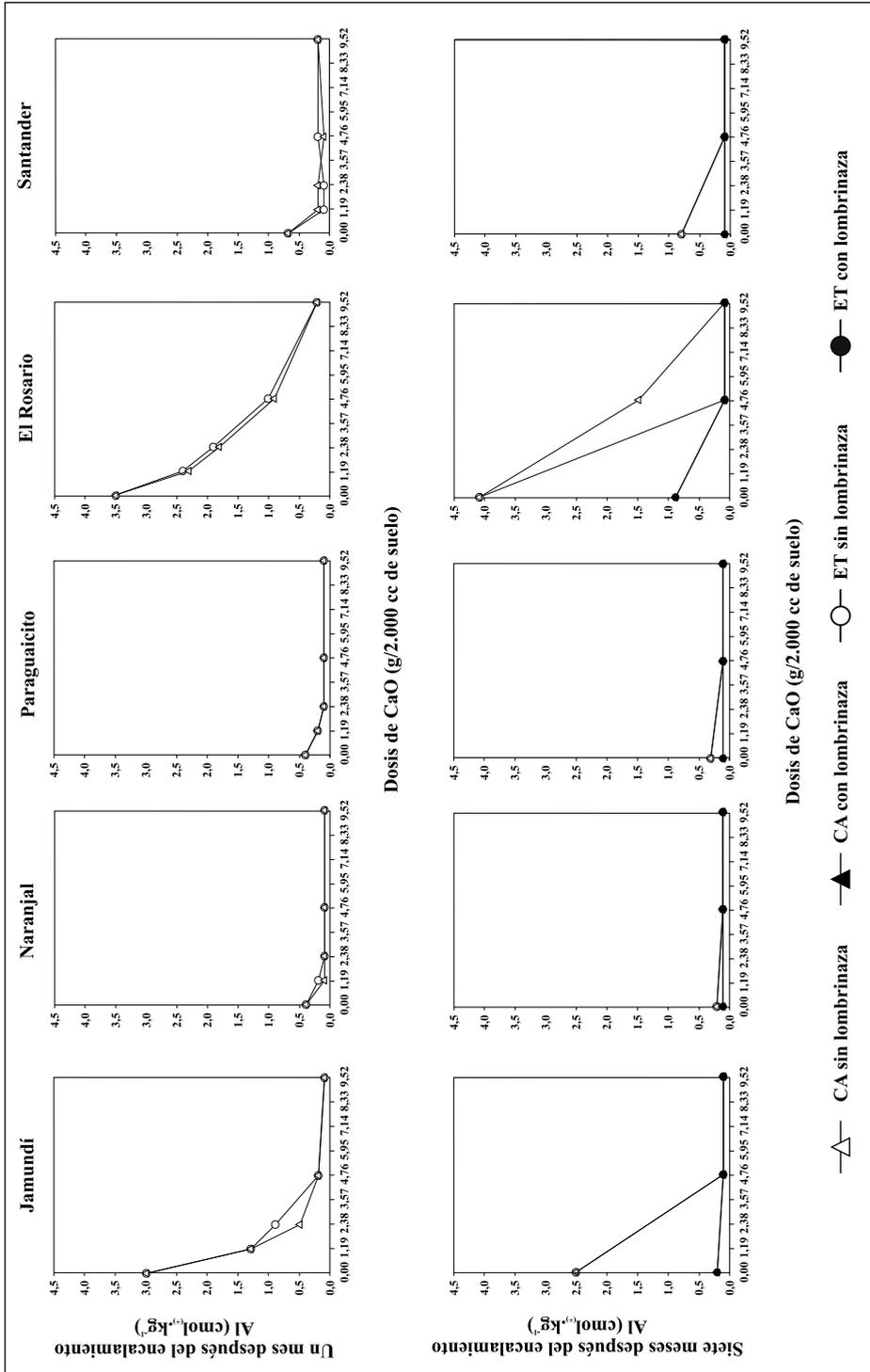


Figura 2. Efecto del encalamiento sobre el contenido de Al^{3+} en los suelos, uno y siete meses después de aplicados los materiales encalantes.

dos fuentes ejercieron efectos similares en cuanto a la disminución de los niveles de Al^{3+} presentes.

Los suelos de Naranjal, Paraguaicito y Santander exhibían niveles iniciales de Al^{3+} por debajo de $1\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ y, por lo tanto, los cambios ocurridos por el encalamiento no fueron notables; mientras que en los suelos de Jamundí y El Rosario, con contenidos de 3,0 y 3,5 $\text{cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente, se dio una reducción de este elemento conforme al aumento de las dosis. En Andisoles, los niveles de Al^{3+} pueden sobreestimarse cuando se utiliza KCl 1N para su evaluación, pues se extraen otras formas de Al provenientes de hidróxidos de Al precipitados y del complejoado con la MO, que no son tóxicas (8). Zapata (32) sostiene que para Andisoles de Colombia, este método llega a reportar valores hasta $13\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$, los cuales solo permitirían el desarrollo de cultivos muy tolerantes a este catión.

Siete meses después de aplicados los materiales encalantes. En los tratamientos sin lombrinaza el comportamiento registrado fue similar al que se observó después de un mes de aplicarlos (Figura 2). Con la aplicación de este abono se logró disminuir el Al^{3+} a valores que no se consideran tóxicos para la planta (menos de $1\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$), razón por la cual en todos los suelos, a excepción de El Rosario, no se presentó un efecto marcado del encalamiento sobre este elemento. Hue (10) señala que el uso de abonos orgánicos, como la gallinaza o residuos sólidos, produce un complejamiento del Al^{3+} presente en el suelo. Sposito (26) plantea que en algunos suelos ácidos ricos en MO o enmiendas con grandes cantidades de residuos orgánicos, generalmente tienen bajas concentraciones de Al^{3+} en la solución del suelo, que permite un buen crecimiento a los cultivos, debido a la formación de complejos con la MO.

Efecto del encalamiento sobre el calcio intercambiable (Ca^{2+})

Un mes después de aplicados los materiales encalantes. En todos los suelos hubo un incremento del Ca^{2+} conforme aumentaron las dosis de las dos fuentes (Figura 3). En general, el contenido de Ca^{2+} fue mayor cuando se utilizó ET, lo cual estaría relacionado con dos factores: primero una mayor concentración de Ca en ET (36,5%, frente a 33,4% de CA), y segundo una reactividad más alta de ET, como resultado del tamaño de partículas (más finas). De acuerdo con Espinosa (6) y Havlin *et al.* (9), la fineza de las partículas individuales de la cal determina su velocidad de reacción, a medida que se reduce el tamaño de cualquier material de encalado, aumenta el área o superficie de contacto, y entre más superficie específica tenga el material más rápido reacciona en el suelo. Zapata (32) asegura que la finura del material está relacionada con su eficiencia, entre más pequeño es el material (la partícula) mayor es la masa de suelo que cubre por unidad de masa de la enmienda.

El suelo de Jamundí mostró un mayor incremento de Ca^{2+} con las dosis crecientes de ambas fuentes calcáreas, logrando aumentar los contenidos desde $0,2\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ hasta $13,6\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ con CA y $14,6\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ con ET.

El suelo de Paraguaicito presentó el menor incremento comparado con los otros suelos; desde un nivel inicial de $3,5\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ hasta valores entre 10,3 y $12,7\text{ cmol}_{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ con CA y ET, respectivamente. Este resultado coincide con el menor incremento del pH en este mismo suelo, efecto atribuido a su textura (F.A.), pues al parecer el material encalante no reaccionó totalmente en el suelo, producto de la poca capacidad de retención de humedad o por la lixiviación del mismo.

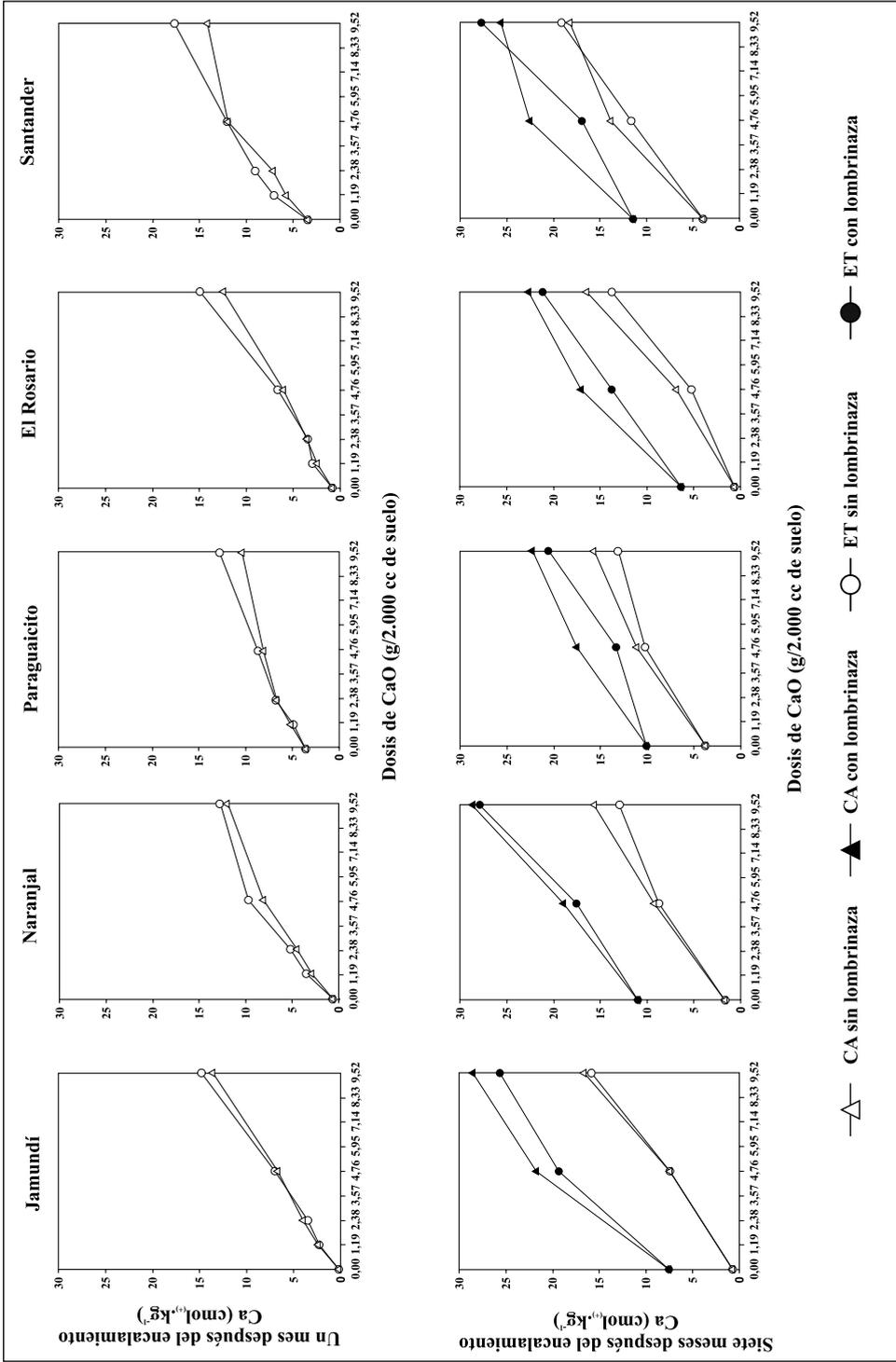


Figura 3. Efecto del encalamiento sobre la concentración de Ca^{2+} en los suelos, uno y siete meses después de aplicados los materiales encalantes.

Es necesario tener presente que en muchas ocasiones no todo el Ca^{2+} determinado en el laboratorio corresponde a la fracción intercambiable, sino también a residuos insolubles del producto, presentes en la matriz del suelo, los cuales se disuelven al utilizar el acetato de amonio¹ a pH 7,0 (de acuerdo a la metodología descrita por el IGAC (12)), dando como resultado niveles muy altos de este elemento.

Siete meses después de aplicados los materiales encalantes. Para los tratamientos con y sin lombrinaza, el encalamiento con las dos fuentes incrementó los niveles de Ca^{2+} en todos los suelos estudiados, similar a lo observado en el primer mes de evaluación (Figura 3). Hubo un efecto aditivo de la lombrinaza que al contener Ca^{2+} aumentó la concentración de este elemento; adicionalmente, es posible que el incremento de la CIC, como consecuencia de la adición de lombrinaza, haya contribuido a la conservación de las bases intercambiables. Fassbender y Bornemisza (7) afirman que la MO estabiliza la acidez del suelo por su poder amortiguador y así mantiene estable el contenido de cationes en el mismo.

Un mes después de aplicados los tratamientos encalantes los contenidos de Ca^{2+} fueron mayores cuando se utilizó ET, y siete meses después se observó un efecto contrario, comportamiento que fue más evidente al emplear lombrinaza. Esta respuesta, se debió principalmente a la mayor solubilidad del ET (tamaño de partícula más pequeña) que reaccionó rápidamente en el primer mes con un menor efecto residual en el tiempo, contrario a la CA que tiene un mayor tamaño de partícula.

Efecto del encalamiento sobre el magnesio intercambiable (Mg^{2+})

Un mes después de aplicados los materiales encalantes. En todos los suelos hubo aumento

en los niveles de Mg^{2+} cuando se aplicó CA (Figura 4), mientras que al aplicar ET el incremento fue mínimo, resultado de un mayor contenido de Mg en la CA.

En los suelos de Jamundí, Naranjal, Santander y parcialmente Paraguaicito, el comportamiento fue decreciente con las dosis más elevadas de CA, lo cual sugiere que los altos niveles de Ca^{2+} pueden contribuir con la reducción del Mg^{2+} , en respuesta a la competencia entre estos dos cationes. Este resultado es explicado por Thompson y Troeh (27), quienes manifiestan que los altos niveles de Ca^{2+} que resultan de los encalamientos, pueden incrementar las deficiencias de Mg^{2+} , debido a que el Ca^{2+} se concentra más fácilmente en los sitios de intercambio catiónico, gracias al menor radio hidratado que tiene este ion con relación a su carga, dando lugar a la adsorción preferente de estos iones y como consecuencia provocando la pérdida del Mg^{2+} por lixiviación.

En el suelo de El Rosario al emplear CA hubo un mayor incremento en los contenidos de Mg^{2+} , con niveles de $0,3 \text{ cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ hasta llegar a $2,2 \text{ cmol}_{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$. Lo anterior podría estar relacionado con la selectividad de Mg^{2+} en este suelo.

En el caso de Mg, al igual que el Ca, su contenido puede no ser totalmente intercambiable (residuos insolubles). León (14) aclara que cuando se determinan los contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} utilizando acetato de amonio a pH=7,0 puede haber imprecisiones, debido a que parte del elemento, llamado intercambiable, se encuentra en el suelo bajo otras formas diferentes a las neutralizadas por las cargas negativas de los coloides órgano - minerales, las cuales son insolubles y no aprovechables por las plantas.

¹ Reactivo empleado para la determinación de Ca en el laboratorio.

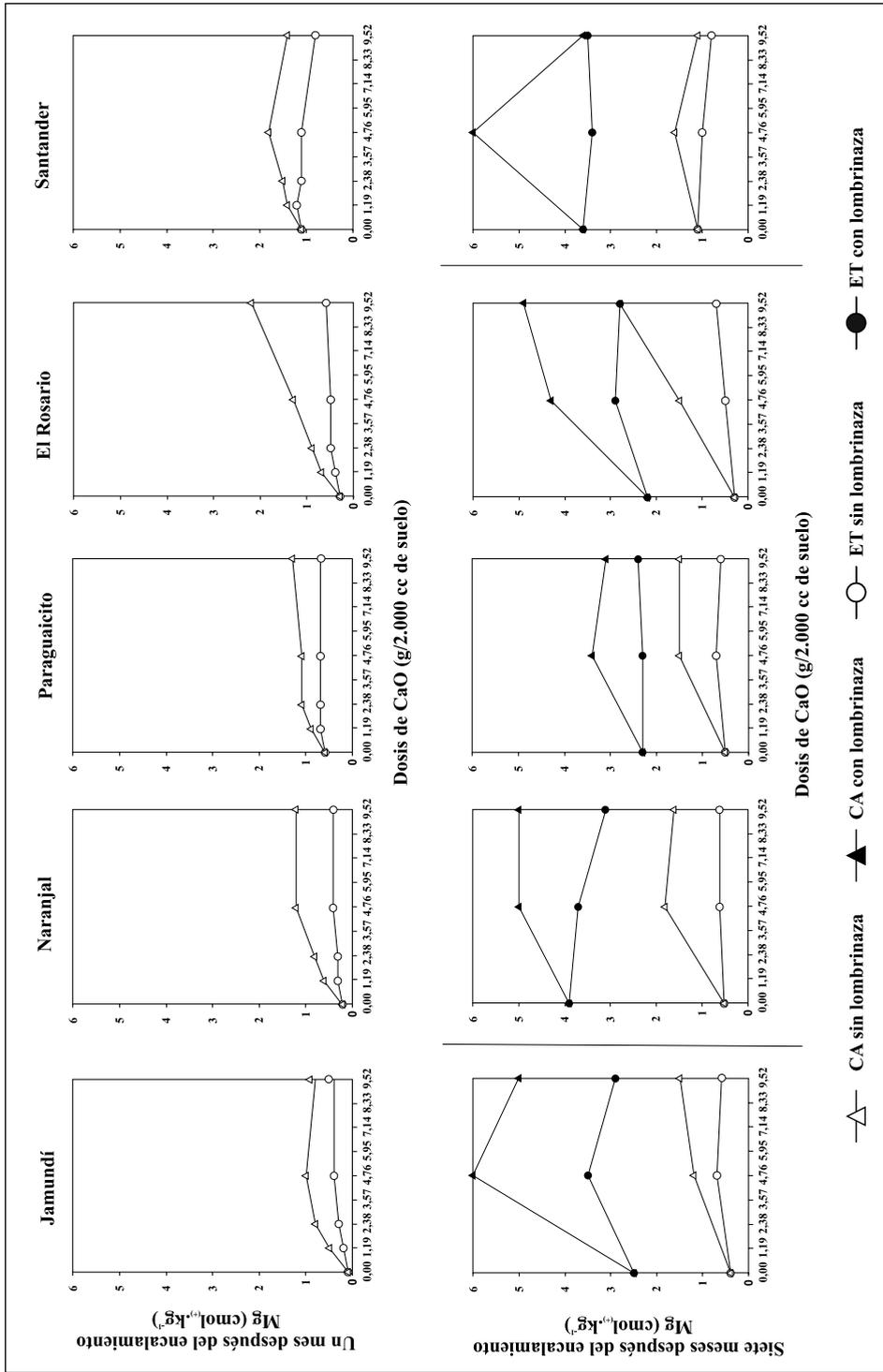


Figura 4. Efecto del encalamiento sobre la concentración de Mg^{2+} en los suelos, uno y siete meses después de aplicados los materiales encalamientos.

Siete meses después de aplicados los materiales encalantes. Similar a la primera evaluación, al emplear CA, bien sea con o sin lombrinaza, se presentaron incrementos en las concentraciones de Mg^{2+} (Figura 4), efecto que se relacionó con el mayor contenido de este elemento. No obstante, para todos los suelos, a excepción de El Rosario, hubo una tendencia a la disminución del Mg^{2+} con la dosis más alta de la fuente CA.

Con relación a ET en combinación con la lombrinaza, no se evidenció un efecto contundente sobre los contenidos de Mg; sin embargo, en los suelos de Jamundí, Naranjal, y parcialmente en El Rosario, se apreció una disminución del Mg^{2+} al utilizar las dosis altas de este material encalante (9,52 g de CaO), condición que pudo estar relacionada con el efecto de competencia entre Ca^{2+} y Mg^{2+} , siendo su efecto más evidente como consecuencia del menor contenido de Mg de esta fuente.

Efecto del encalamiento sobre el fósforo (P)

Un mes después de aplicados los materiales encalantes. Los niveles de P en todos los suelos evaluados se incrementaron al utilizar ET, como respuesta al contenido de P en esta fuente (10,8% de P_2O_5) (Figura 5).

Se esperaba que el incremento del pH, logrado con la aplicación de CA, diera lugar a una mayor disponibilidad de P en el suelo, como lo explica Lora (16), quien afirma que en condiciones de pH ácido la disponibilidad de P se disminuye considerablemente, debido a la formación de fosfatos de Fe y Al; por lo tanto, su mayor disponibilidad se dará a un pH cercano a la neutralidad, valores en los que los microorganismos también realizan la mayor mineralización del P orgánico. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los suelos derivados de cenizas volcánicas

tienen una alta capacidad para fijar el P. De acuerdo a Parfitt y Kimble (20), una de las características más importantes de los Andisoles es su capacidad para retener P en la superficie de los minerales amorfos, motivo por el cual no se evidenciaron incrementos en su concentración al utilizar CA. Así mismo, el incremento del pH a valores neutros o alcalinos, ocasionan la formación de fosfatos de Ca o Mg que hacen menos disponible este elemento (2).

Cuando se utilizó ET los menores incrementos de P se presentaron en los suelos de El Rosario (16 $mg.kg^{-1}$) y Naranjal (17 $mg.kg^{-1}$), seguidos por Jamundí (41 $mg.kg^{-1}$), efecto causado posiblemente por el poder de fijación del suelo. Bravo y Gómez (4) indican que el fenómeno de fijación de P es muy importante en los suelos de la zona cafetera derivados de cenizas volcánicas como es el caso de Naranjal y El Rosario; ellos encontraron que para los suelos de la unidad Chinchiná puede haber una fijación hasta de 1.800 $mg.kg^{-1}$. López (15) sostiene que en los suelos de la unidad Chinchiná los óxidos libres de Fe y Al son los responsables de la retención de P.

Los mayores incrementos de P con ET, ocurrieron en los suelos de Santander y Paraguaicito, con niveles hasta de 120 $mg.kg^{-1}$ y 128 $mg.kg^{-1}$, respectivamente. Este efecto podría estar relacionado con una menor precipitación de fosfatos por el Al^{3+} . El suelo de Santander no es derivado de cenizas volcánicas, por lo tanto no presenta retención de P, y para el caso de Paraguaicito, a pesar de tener características ándicas, presenta menores niveles de MO (6,4%) que las demás unidades de suelos derivados de cenizas volcánicas. En los suelos de ambas localidades los contenidos iniciales de Al^{3+} fueron muy bajos (0,7 y 0,4 $cmol_{(+)}.kg^{-1}$, respectivamente).

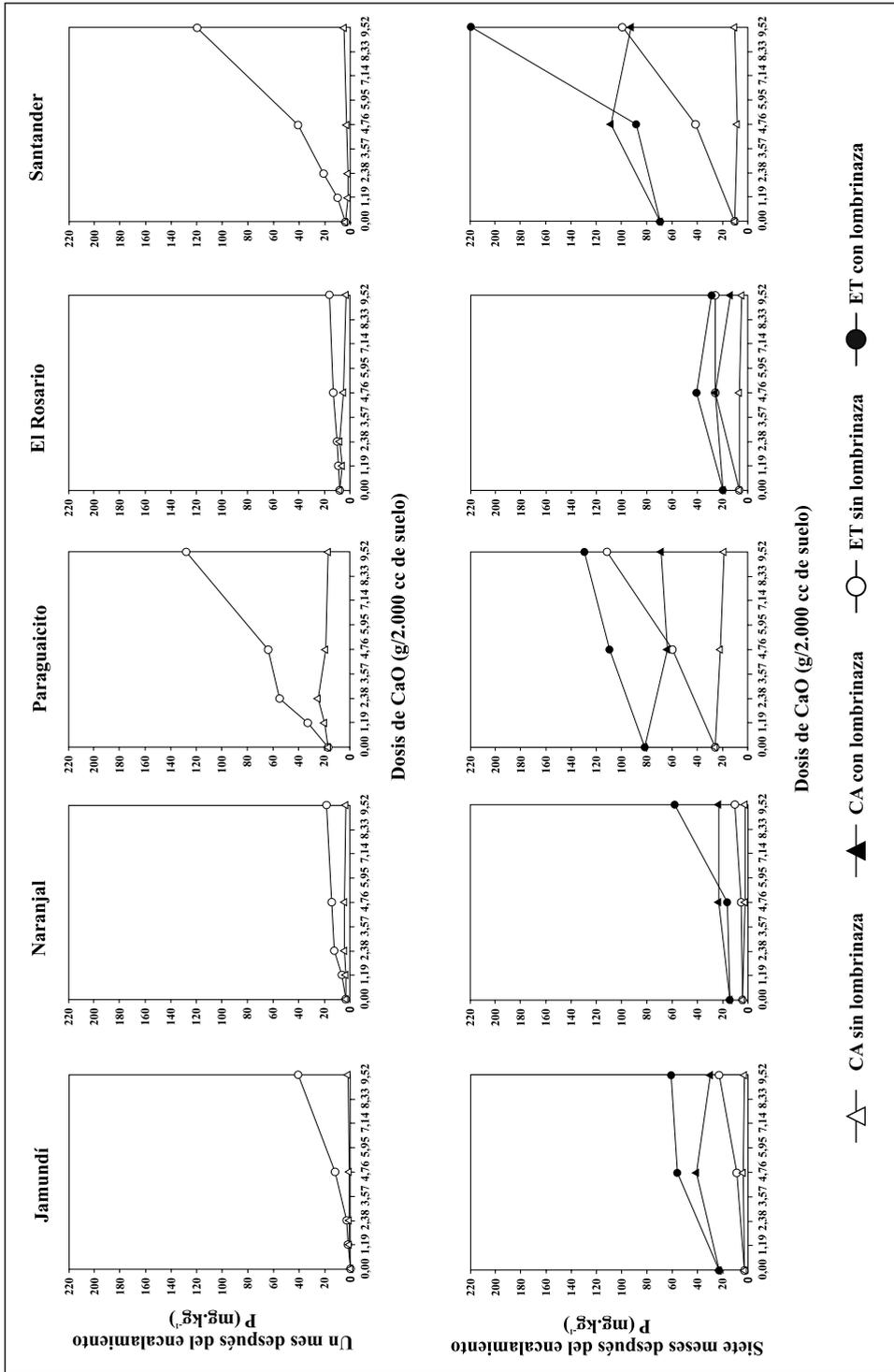


Figura 5. Efecto del encalamiento sobre la concentración de P en los suelos, uno y siete meses después de aplicados los materiales encalamientos.

Siete meses después de aplicados los materiales enclantes. En todos los suelos con y sin lombrinaza se presentó un incremento del P cuando se utilizó la fuente ET.

En los suelos de Jamundí y Santander en mezcla con lombrinaza, la adición de CA produjo un incremento en los niveles de P al aplicar la dosis media (4,76 g de CaO); sin embargo, al incrementar la dosis (9,52 g de CaO) se disminuyeron los contenidos de este elemento, efecto que pudo estar relacionado con un aumento en el pH, el cual mejoró inicialmente la disponibilidad de P, pero al incrementar la dosis se favoreció la formación de fosfatos insolubles de Ca que afectaron la disponibilidad de dicho elemento. En los demás suelos no se presentó un efecto evidente de la aplicación de CA.

Cuando se aplicó CA sin la adición de abono orgánico, no se aumentó el P disponible, al igual que en la primera caracterización realizada un mes después de aplicados los materiales enclantes.

Los niveles de P fueron mayores cuando se utilizó lombrinaza, respuesta que pudo estar relacionada con los contenidos de este elemento en la lombrinaza (0,31%), o con el efecto solubilizador de los ácidos orgánicos sobre los fosfatos inorgánicos. Bolan *et al.* (3) hallaron que la adición de ácidos orgánicos reduce significativamente la adsorción de P sobre la superficie de la alófana.

De acuerdo con Bohn *et al.* (2), los materiales orgánicos pueden incrementar la actividad microbiana, lo que conlleva a un aumento en la actividad de enzimas fosfatasa, que mediante procesos químicos ayudan a liberar fosfatos de los compuestos orgánicos. Del proceso se generan ácidos orgánicos o sus bases conjugadas que pueden tener efectos sobre la biodisponibilidad de varios nutrientes, entre ellos el P. Así mismo, la

MO como complejante del Al^{3+} presente en el suelo, disminuye el riesgo de la formación de fosfatos de aluminio que reducen la disponibilidad de este elemento (1).

Los anteriores resultados permiten afirmar que con el enclamiento sin la adición de lombrinaza se logra disminuir la acidez (aumento del pH y reducción del Al^{3+}) e incrementar los niveles de Ca. En promedio, para los suelos evaluados, por cada gramo de cal agrícola/1.000 cc de suelo el pH se incrementó aproximadamente en 0,2 unidades y el Ca en $1,0 \text{ cmol}_{(+)}. \text{kg}^{-1}$. De acuerdo con la fuente empleada es posible elevar los contenidos de P y Mg, y así mismo, con el uso de lombrinaza se logra disminuir la acidez, sin que haya necesidad de encalar.

LITERATURA CITADA

1. BELL, L.C.; EDWARDS, D.G. The role of aluminium in acid soil infertility. *In*: LATHAM, M. (Ed.). Soil management under humid conditions in Asia. Bangkok, IBSRAM, 1986. p. 201-224.
2. BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNOR, G.A. Soil chemistry. New York, John Wiley and Sons, 1985. 329 p.
3. BOLAN, N.S., NAIDU, R.; MAHIMAIRAJA, S.; BASKARAN, S. Influence of low-molecular-weight organic acids on the solubilization of phosphates. *Biology and Fertility of Soils* 18:311-319. 1994.
4. BRAVO G., E; GÓMEZ A., A. Capacidad de fijación de fósforo en seis unidades de suelos andosólicos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 25 (1): 19-29. 1974.
5. CARRILLO P., I.F. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 1985. 111 p.
6. ESPINOSA, J. Acidez y enclado de los suelos. Quito, Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), 1999. 42 p.
7. FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José de Costa Rica, IICA, 1987. 420 p.

8. GARTNER V., C. Determinación del aluminio tóxico en dos suelos ácidos. Medellín, Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, (Tesis: Química). 1994. 55 p.-
9. HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers; and introduction to nutrient management. Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999. 499 p.
10. HUE, N. V. Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. Communications in Soil Science and Plant Analysis 23 (3-4): 241-264. 1992.
11. INPOFOS. Manual Internacional de la Fertilidad de suelos. Quito, Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS), 1997. p.v.
12. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). Métodos Analíticos del laboratorio de Suelos. Bogotá, IGAC, 1990. 502 p.
13. KAMPRATH, E.J. Acidez del suelo y su respuesta al encalado. Proyecto Internacional de Análisis de Suelos. Boletín Técnico N° 4. Raleigh, North Carolina. 1967. 24p.
14. LEÓN S., L.A. Las propiedades químicas de los suelos y su efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. In: GARCÍA A.; VALENZUELA, I. (Ed) Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Comité Regional del Valle del Cauca, 2001. 51-61 p.
15. LÓPEZ A., M. Valoración de las formas de fósforo, orgánico e inorgánico, de un suelo de la zona cafetera Colombiana. Cenicafé 11(7): 189-204. 1960.
16. LORA S., R. Factores que afectan la disponibilidad de nutrimentos para las plantas. In: SILVA M., F. (Ed) Fertilidad de suelos diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo, Bogotá, 1994. p. 29-55.
17. MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. Principles of plant Nutrition. Berna, International Potash Institute, 1978. 593 p.
18. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCO A., H.F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. Cenicafé 55(2):101-110. 2004.
19. OSORIO, N. W. Cambios en la fertilidad del suelo con la aplicación de materiales orgánicos. In: Memorias de Seminario Materiales orgánicos en la agricultura. Medellín, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2003. 15 p.
20. PARFITT, R.; KIMBLE, J.M.. Conditions for formation of allophane in soils. Soil Science Society of America Journal 53: 971-977. 1989.
21. RAJU, T.; DESHPANDE, P.B. Lime-zinc interactions in coffee (*Coffea arabica* L.) seedlings. Journal of Coffee Research 16(3-4): 79-88. 1986.
22. REEVE, N. G.; SUMMER, M. E. Lime requeriments of Natal Oxisols based on exchangeable aluminum. Soil Science Society of America Proceedings 34: 595-598. 1970.
23. RODRÍGUEZ, T. Comparación de métodos químicos rápidos para determinar el requerimiento de cal en diez suelos del nororiente venezolano. Jusepin, Universidad de Oriente, 1971. 70 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
24. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Boletín Técnico Cenicafé No. 32: 1-433.2008.
25. SADEGHIAN K., S. DUQUE O., H. Análisis de suelos: Importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. Avances Técnicos Cenicafé 308: 1-8. 2003.
26. SPOSITO, G. The environmental chemistry of aluminum. Boca Raton, Lewis Publishers, 1996. 464 p.
27. THOMPSON, L.M.; TROEH, F.R. Los suelos y su fertilidad. Barcelona, Revert S.A., 1988. 649 p.
28. TORO G., R. Efecto de dosis crecientes de cal dolomítica en plántulas de café *Coffea arabica* var. Colombia en invernadero. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 1994. 99 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
29. VALENCIA A., G. Degradación química y encalado de suelos. Cenicafé 40(2):54-62. 1989.
30. VALENCIA A., G. Producción potencial de café según condiciones del suelo. Chinchiná, Cenicafé, 1990. 16 p.
31. VALENCIA A., G.; BRAVO G., E. Influencia del encalamiento en la producción de cafetales establecidos. Cenicafé 32(1):3-14. 1981.
32. ZAPATA H., R. Química de la acidez del suelo. Medellín, Cargraphics, 2004. 208p.